

H 種絶縁の設計に関する研究 (I)

— 温度上昇と出力, 温度上昇係数, 損失分配率, 能率, 主要寸法 —

藤 宗 寛 治・村 本 浩

Studies on the Effect of Temperature Rise in the Designing of Silicone Insulated Electric Machinery (I)

Hiroharu FUJISO, Hiroshi MURAMOTO

It is aimed, in this paper, to present some of the general method of designing of silicone insulated direct current machinery, the calculation of which being already given by one of the authors, and to show how the fundamental data of silicone insulation, which were presented and discussed in the series of the previous issues, may be applied to the designing of the same.

〔1〕 緒

言

「シリコーン」と硝子繊維（糸または布）、またはマイカとを組合せたH種絶縁材料は従来絹、木綿、紙などの有機絶縁材料を有機絶縁ワニスで処理したA種絶縁材料やその中間のB種絶縁材料に比べて耐熱耐湿特性が著しく優れていることが認められている。

近時高電圧による送配電網の発達につれてそこに接続される機器の試験電圧は益々高くなり、一方航空機、船舶などからは極度に小型軽量化が要求されている。前者では絶縁が厚くなるため、後者では冷却面の関係で単位重量当りの出力増加を試みようとするが放熱の問題が重要になる。ところで電気機械の出力は電気装荷と磁気装荷の積に比例する。実際には磁気装荷は絶縁耐力の問題と磁気飽和の問題とから10～20%程度の増加しか望めないで、出力増加の点では主として電気装荷の増加によらねばならない。普通電気機械の過負荷耐量は電流の増加のみによつた場合であるが、このままでは能率は低くなる。電気装荷の増加は内部における単位体積当りの損失の増加となりこれは電機子表面に分布するからこの表面温度は上昇する。そして内部単位体積当りの発熱量を一定とすれば直径が大になる程温度上昇は高くなる。

現状ではこの温度上昇は一定の規格を越すことはできないので新しい冷却方式が種々工夫されている。さらに高電圧になるとその絶縁層の厚さも大となつて一層その冷却は困難になる。すなわち高電圧大容量機になればなる程冷却の問題がむずかしくなる。

以上は表面温度上昇について考えたのであるが、絶縁が厚くなるにつれて内部に発生した熱の放熱割合が良好なことが必要になつてくる。従来の絶縁材料は電気的特性が優れていても必しも熱伝導性が良好とはいえない。

そこで設計の根本としては、

1. 内部発熱量を的確に検討しその最高温度を低め、一定制限を超過せぬようにする。
2. 負荷に対して平均温度または最高温度を予知した制御しうるような方法及び装置すなわち計算式または冷却方法を求める。

3. 熱的に安定でかつ熱伝導度の高い絶縁材料を用いる。

という点が考えられる。

そこで我々は、H種絶縁材料を用うることによつて従来のA種絶縁の場合の2倍の温度上昇110°Cを許容するという新たな観点から電気機械を設計しようとし、かつ能率は著しく低下させない方針の下にその設計法について研究することにした。

米国では200°Cを越えないとの規定案が提示されているが¹⁾ 我国では最高温度150°Cとなっているからこれによることにする。

H種絶縁については基礎的に多くの研究があり特に熱的特性については筆者の一人がその研究を発表している²⁾。

同人はさらに温度上昇と放熱係数について研究をとげたのですでに一文を草して全般的な発表を行つたけれども³⁾ 今回理解と取扱い上一層便利であるように解析を行つたのでその結果について論述することにする。

〔2〕 温度上昇と放熱係数

A種絶縁の場合については竹内寿太郎、Hechheimer 始め多くの研究者によつて研究されているが、H種絶縁の場合について研究されたものを見ない。前述したように電気機械では温度上昇の制限をうけるから発熱量の減少、放熱量の増大を計ることが必要で、従つて設計を行う場合その温度上昇を予測することは極めて大切なことになる。しかるに温度上昇はこれを正確に式で表わすことは難かしいので、一般には次のような実験式を用いている。

$$\theta = K_t \left(\frac{W}{A} \right) f(v) \dots\dots\dots (1)$$

ここに θ : 温度上昇

K_t : 常数(実験者によつて異なる)

W : 全損失

A : 全冷却面積

$f(v)$: 回転数による係数

いまH種絶縁材料を用いてその表面温度上昇を2倍まで許容するということは、一定寸法の機械ではその W の値を2倍になしうることである。

しかるに損失 $W = W_e$ (銅損) + W_f (鉄損) であり、これは次のようにおくことがある。

$$\left. \begin{aligned} W_e &= I^2 R, = \beta_e I^2 \dots\dots\dots \\ W_f &= B^2 \left\{ \kappa_H \frac{f}{100} + \kappa_E d^2 \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right\} = \beta_f E^2 \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

ここに R : 抵抗, β : 常数, B : 磁束密度

一般に第1の機械のそれを1, 第2の機械のそれを2と示し、第2の機械の温度をH種絶縁の場合と考え、抵抗の温度係数を α とすると、

$$\left. \begin{aligned} W_{e1} &= \beta_e I_1^2 & W_{e2} &= \beta_e I_2^2 \{ 1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1) \} \dots\dots\dots \\ W_{f1} &= \beta_f E_1^2 & W_{f2} &= \beta_f E_2^2 \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

よつて (3) 式と (1) 式から, つぎの関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= k_{t1} \{ \beta_f E_1^2 + \beta_e I_1^2 \} \frac{f_1(v)}{A} \dots\dots\dots \\ \theta_2 &= k_{t2} [\beta_f E_2^2 + \beta_e I_2^2 \{ 1 + \alpha (\theta_e - \theta_1) \}] \frac{f_2(v)}{A} \dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

そこでいま出力 $P =$ 誘起電圧 $E \times$ 電流 I の関係において,

$$I_2 = m I_1, E_2 = n E_1 \quad (m, n \text{ は正数}) \dots\dots\dots (5)$$

$$K_{e1} = \frac{W_{e1}}{W_{f1}} = \frac{\beta_e I_1^2}{\beta_f E_1^2} \dots\dots\dots (6)$$

とおくと,

$$\begin{aligned} \theta_2 &= k_{t2} \{ \beta_f (nE)^2 + \beta_e (mI)^2 \} \frac{f_2(v)}{A} \\ &= k_{t2} \beta_f (nE)^2 \{ 1 + K_{e1} r^2 (1 + \alpha \theta) \} \frac{f_2(v)}{A} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\text{ここに,} \quad \theta = \theta_2 - \theta_1, \quad r = \frac{m}{n},$$

温度上昇の比 $\frac{\theta_2}{\theta_1}$ は次のようになる。

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = K n^2 \left[\frac{\{ 1 + K_{e1} r^2 (1 + \alpha \theta) \}}{(1 + K_{e1})} \right] \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{ここに } K = \frac{k_{t2} f_2(v)}{k_{t1} f_1(v)} \circ$$

〔3〕 温度上昇と損失分配率

第1の機械例えばA種絶縁, 第2の機械例えばH種絶縁とした場合の損失分配率を比較すると (3) 式から

$$\begin{aligned} \frac{K_{e2}}{K_{e1}} &= \frac{\{ \beta_e (1 + \alpha \theta) (mI) \}^2}{\beta_f (nV)^2} \\ &= \left(\frac{m^2}{n^2} \right) \{ 1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1) \} = r^2 \{ 1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1) \} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

を得る。

〔4〕 温度上昇と出力

電気機械の出力 P は誘起電力 E と電機子電流 I との積として表わされる。

$$\begin{aligned} P = EI &= \left(\frac{2p}{2a} \right) Z \Phi \left(\frac{n}{60} \right) I 10^{-8} = \pi DLB \pi D ac \left(\frac{n}{60} \right) 10^{-8} \\ &= \pi^2 D^2 Lac B \left(\frac{n}{60} \right) 10^{-8} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

ここに P : 出力, E : 誘起電圧, I : 電機子電流, L : 実際鉄心長, Z : 全導体数, Φ : 有効磁束数,

B: 電機子表面の平均磁束密度

いま〔2〕と同様に $I_2 = m I_1$, $E_2 = n E_1$ として $\frac{P_2}{P_1}$ の比を S とおけば, この S と損失分配率, 温度上昇との関係が求められる。(8)(9) 式と, S から次の 3 式の関係において S を求めると, 次のようになる。すなわち

$$S = mn$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{K_{c2}}{K_{c1}} &= \left(\frac{m}{n}\right)^2 \{1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)\} \dots\dots\dots \\ \frac{\theta_2}{\theta_1} &= \frac{Kn^2 \{1 + K_{c1} r^2 (1 - \alpha\theta_1)\}}{\{1 + K_{c1} (1 - Kn^2 r^2 \alpha\theta_1)\}} \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

$$S = \left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right) \left(\frac{1}{K}\right)^{(1+K_{c1})} \sqrt{\frac{K_{c2}}{K_{c1}}} / \{1 + K_{c1} (K_{c2}/K_{c1}) \sqrt{1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)}\} \dots (12)$$

$$S = n \sqrt{(1 + K_{c1}) \theta_2 - K \theta_1 n^2} / \sqrt{K \cdot K_{c1} \theta_1 \{1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)\}} \dots\dots\dots (13)$$

(13) 式から S が最大となる条件を求め, その値を S_{max} とすると,

$$S_{max} = \left(\frac{\theta_2}{\theta_1}\right) \left[\frac{(1 + K_{c1})}{2K \sqrt{K_{c1} \{1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)\}}} \right] \dots\dots\dots (14)$$

そこで θ_2 を与えて S_{max} を得るには, 逆に S を与えて θ_2 を最小とすることになるから (14) 式から次式をうる。

$$\theta_2^2 (1 + K_{c1})^2 - 4K^2 K_{c1} \alpha (S_m \theta_1)^2 \theta_2 - 4K^2 K_{c1} (S_m \theta_1)^2 (1 - \alpha\theta_1) = 0, \dots\dots (15)$$

(15) 式をとくと,

$$\theta_2 = \frac{4K^2 K_{c1} \alpha (\theta_1 S_m)^2 \pm \sqrt{4K^2 K_{c1} (\theta_1 S_m)^2 \{\alpha^2 + 4(1 - \alpha\theta_1)(1 + K_{c1})^2\}}}{2(1 + K_{c1})^2} \dots (16)$$

(16) によつて最初の K_{c1} すなわち損失分配率を与えておけば S を何倍かにとつた場合の θ_2 が得られる。

また λ_c を銅の熱伝導度, λ_f を鉄の熱伝導度とし β_c , β_f を発熱係数とすると,

$$\theta_2 = \frac{W_c}{\lambda_c} + \frac{W_f}{\lambda_f} = \frac{\beta_c}{\lambda_c} (1 + \alpha\theta_2) I^2 + \frac{\beta_f}{\lambda_f} E^2 \dots\dots\dots (17)$$

となり, $K_c = \frac{W_c}{W_f} = \frac{\beta_c I^2}{\beta_f E^2}$ とおくと,

$$\left. \begin{aligned} W_f &= \frac{\lambda_f \theta_2}{[1 + (\lambda_f/\lambda_c) \{K_c (1 + \alpha\theta_2)\}]} \dots\dots\dots \\ W_c &= \frac{\lambda_c \theta_2}{[1 + (\lambda_c/\lambda_f) \{1/K_c (1 + \alpha\theta_2)\}]} (1 + \alpha\theta_2) \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (18)$$

となるから,

$$\begin{aligned} P &= EI = \sqrt{\frac{W_f}{\lambda_f}} \cdot \sqrt{\frac{W_c}{\lambda_c}} \\ &= \left[\theta_2 \sqrt{\left(\frac{\lambda_c}{\beta_c}\right) \left(\frac{\lambda_f}{\beta_f}\right) \left(\frac{1}{\sqrt{1 + \alpha\theta_2}}\right)} \right] \times \\ &\quad \left[\frac{1}{\sqrt{\{1 + (\lambda_f/\lambda_c) K_c (1 + \alpha\theta_2)\}} \sqrt{\{1 + (\lambda_c/\lambda_f) 1/K_c (1 + \alpha\theta_2)\}}} \right] \dots\dots (19) \end{aligned}$$

(19) 式で分母を最小とくと、 P は最大となるからそのときの K_c を K_{cm} とおくと、

$$K_{cm} = \frac{\lambda_c}{\lambda_f (1 + \alpha \theta_2)}$$

$$P_{max} = \sqrt{\left(\frac{\lambda_c}{\beta_c}\right) \left(\frac{\lambda_f}{\beta_f}\right) \theta_2} / 2\sqrt{1 + \alpha \theta_2} \dots\dots\dots (20)$$

を得る。

〔5〕 温 度 上 昇 と 能 率

電気機械の電磁的規約能率 η は

$$\eta = \frac{\text{容量 (Watt)}}{\text{容量 (Watt)} + \text{損失 (Watt)}} = \frac{1}{1 + \frac{W}{P}} \dots\dots\dots (21)$$

とあらわされるから、(21) 式に (18) 式を代入すると、

$$\eta = \left\{ \frac{1}{1 + \sqrt{\beta_c \beta_f (1 + \alpha \theta_2)}} \left(\frac{1 + K_c}{\sqrt{K_c}} \right) \right\} \dots\dots\dots (22)$$

となる。(22) 式で $K_c = 1$ のとき η は最大であるから、これを η_m とおくと

$$\eta_m = \frac{1}{1 + 2\sqrt{\beta_c \beta_f (1 + \alpha \theta_2)}} \dots\dots\dots (23)$$

となる。

すなわち能率は損失分配率と温度上昇に関係し、温度上昇が高くなるにつれて最大能率は若干低下することを示している。

〔4〕 および 〔5〕 によつて、温度上昇 θ_2 における容量、能率ともに最大にする条件は、 $K_{cm} = \frac{\lambda_c}{\lambda_f (1 + \alpha \theta_2)} = 1$ である。

〔6〕 設 計 法

(a) 設 計 の 方 針

H種絶縁を用いた電気機器は大体次に示すようなそれぞれの場合に適合するように設計せられる。

- (1) 温度上昇をH種絶縁の最高許容温度迄高めて小型軽量を計ろうとするような場合
- (2) 高温度の炉壁や鉄板等の近くに装備する場合H種絶縁以外では絶縁の熱劣下が甚しいような場合
- (3) 短時間定格の場合、起動発停の頻繁な場合あるいは過負荷で反覆使用し温度上昇が意外に高くなると考えられるような場合
- (4) 湿度の高い場所、瓦斯の侵入の惧ある場所等で高い耐久力と信頼性を要求されるような場合
- (5) 電動機の巻替えによつて過負荷耐量を増加しようとする場合
- (6) 火災の防止または類災の軽減を望むような場合

以上何れの場合でも経済的に迅速にかつ、高性能を目標として設計せられなくてはならぬことは一般の電気機器の場合と同様である。そして我々の場合は特に温度上昇を2倍としかつ能率の低下を来たさないような設計を行うことを目標とするのである。

(b) 設計に必要な諸量

H種絶縁の設計においては前記各号何れの場合にも電氣的に機械的に従来の設計値と種々異なつた点が考えられる。

以下それ等について考察することにする。

〔7〕電 氣 的 設 計 法

一般に電気機械を設計する場合には次の2つの方法がある。

(1) 電気機械の寸法を決めるのに従来の事例について統計的資料を整理しその結果からこれを決定し、それを基として損失を計算し、能率、温度上昇等を検討して補正を加えていく方法

(2) 最初能率と温度上昇を仮定してその損失を鉄損、銅損などに割り当ててこれに相当する寸法を決定していく方法

実際には(1)によるのが多いけれども、熟練した設計者が新しい型の電気機械を設計する場合には(2)によるのがよいとせられる。

H種絶縁の場合これを単に絶縁のみの問題として設計する場合には(1)による方が従来の成果の大部分がそのまま使える点で便利であるが、これを温度上昇を高く許容することによつて出力の増大いいかえれば小型軽量を計りまたは短時間定格で出力増加を計ろうとするような場合には(2)によるのが至当であろう。所論を簡単にするために以下主として直流機の設計についてのべる。

直流機を設計する場合には従来色々な方法が提唱されている。しかし直流機が軸の周囲に対象的に配置された固定子及び回転子からなつていることから、その主要寸法すなわち固定子回転子の間にある空隙の直径Dと軸方向への鉄心長Lとを決定することが設計の基礎になつてはいることは何れの方法でも同様である。

そしてD, L, nと出力との関係には種々の考え方から研究者夫々の理論に基いて、設計基本式が示されている。その大要を述べると次のようである。

(a) 出 力 方 程 式

空隙直径D, 鉄心長L, 及び回転数nと出力Pとの間に密接な関係があることを示したもので、1890年 T. Snell の提唱により Esson, Behr-Eschenberg, Sumec 等を経て一般に使用されるようになり、Kapp, Arnold, Ossana 等は

$$P = (18 \sim 240) \times 10^{-3} \times D^2 L n \dots\dots\dots (24)$$

なる式をもつて全般にわたる設計基礎式を整備した。

1916年 Zavada は $D^2 L n$ の代りに $D^3 L n$ を用いると係数の範囲が狭くなることを提案し、田中竜夫はこれについて独立な研究を行つて

$$\xi_1 = \frac{D^3 L}{MC} \times 10^{-5} = 5 \sim 20 \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{ここに } MC = \frac{KW}{\frac{n}{60}},$$

なる式を示し設計の基礎とした⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

その後 Rosenthal, Otto 等は $\left(\frac{P}{n}\right)^{\frac{1}{2}} = K D^2 L$, $\left(\frac{P}{n}\right) = K D^2 L^2$ などと改良を加えたが、元来この種の関係は単に従来の統計的結果をまとめたものにすぎず、その電磁的な根本の関係については何等理論的な意義を示していないのである。

これに対して Emde⁶⁾ は電機子表面 1m^2 当りに切線方向に働く力 σ (kg) を考えて、

$$P = 9.8 \times 10^{-8} \times \pi^2 \sigma D^2 L n \doteq 10^{-8} \sigma D^2 L n \text{ (kw)} \dots\dots\dots (26)$$

ここに $D, L \dots (\text{cm})$, $\sigma \dots \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$, $n \dots (\text{r. p. m})$

を与えた。

(b) 電気装荷と磁気装荷

電気機械の出力とその寸法との間には結局 (26) 式の関係があるから、 σ をさらに追究すると、電磁量の計算から σ の値は次のようにして求められる⁷⁾。

$$\sigma = \frac{10^{-9}}{9.8} \cdot \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} B \text{ ac } dx \dots\dots\dots (27)$$

ここに ac : 電機子表面 1cm 当りのアンペア導体数, B : 電機子表面における平均磁束密度, x : 周辺に沿つて計る。したがつて (27) 式の関係と (26) 式とを結びつけることによつて

$$P = K B \text{ ac } D^2 L n \dots\dots\dots (28)$$

ここに $K = (0.8 \sim 1.25) \times 10^{-11}$

からさらに次式が誘導せられる。

$$P = \left(\frac{K}{\pi^2}\right) (2p)^2 \Phi \cdot AC \cdot n \dots\dots\dots (29)$$

ここに $\Phi = \text{極磁束} = \tau \cdot L \cdot B = \left(\frac{\pi DL}{2p}\right)$, $2p$: 極数

AC : 毎極全アンペア回数 $= \tau \cdot \text{ac} = \left(\frac{\pi DL}{2p}\right) \cdot \text{ac}$

(29) 式から Φ , AC をきめると、 B または ac がわかり、これから D, L が決定される。

この方向からの研究には Niethammer⁸⁾, Gray⁹⁾ 等の $\frac{AC}{\Phi} = \text{一定}$ とする比例説や田中竜夫の $\frac{(AC)^2}{\Phi} = \frac{(ac)^2}{B_0}$, 竹内寿太郎の $\Phi = a_s (AC)^p$ の式等がある。 p は次表のような値である。

直 流 機	交 流 機 (同期機)	誘 導 機
1.5	1.7~1.6	1.4~1.3

上田輝雄は回転力 T を媒介変数として $2p \Phi = K_1 T^k$, $2p AC = K_2 T^{1-k}$ とおき、 T を $\text{kg} \cdot \text{m}$ としたとき K_1 に次の値であるとしている。

直 流 機	交 流 機	誘 導 機
0.882	0.716	0.882

$K_2 = \left(\frac{1}{k \epsilon_s \epsilon_m}\right) \frac{1}{K_1}$ とし、 $k = 3.24 \times 10^{-4}$, ϵ_s : 波形率, ϵ_m : 巻線係数 $K = 0.608$ である¹¹⁾。

以上電気的設計法について述べたけれどもそれは何れも高い温度上昇に対しては何等の考慮を

払っていないのである。それゆゑ H 種絶縁の設計を行う場合にはこれ等の諸研究は高い温度上昇の顧慮の下に再検討を行う必要がある。すなわちその出力は (14) 式または (20) 式で表わされるようになり出力方程式の形としては (26) 式の σ を $K_{11}/\theta_2 - K_2$ の形に直さなければならない。

以上によつて温度上昇と出力との関係が決定されるから損失分配率を適当に定め、放熱係数を考慮に入ると全磁束及び全アンペア回数が決定せられる。磁束密度は 10~20 % の増加に止めると、全アンペア回数はこれによつて定まる。

[8] 温度上昇の計算式

(8) 式の関係から

$K = k_{t2} f(v)_2 / k_{t1} f(v)_1$ であるからこれを θ_2/θ_1 の項であらわすと次のようになる。

$$K = \left(\frac{1}{n^2} \right) \left(\frac{\theta_2}{\theta_1} \right) \left[\frac{(1 + K_{e1})}{[1 + K_{e1} r^2 \{1 + \alpha (\theta_2 - \theta_1)\}]} \right]$$

すなわち θ_2/θ_1 , K_{e1} , r , m , n などがわかれば、A 種絶縁の場合と H 種絶縁の場合における温度上昇係数の比がわかる。

$$K = \left(\frac{m}{n} \right) \left[\frac{(1 + K_{e1})}{[1 + K_{e1} r^2 \{1 + \alpha (nm - 1) \theta_1\}]} \right] \dots\dots\dots (21)$$

いま $m = 2$, $n = 1.2$, $\theta_1 = 60^\circ\text{C}$ とすると, $mn = 2.4$, $r = \frac{m}{n} = 1.66$

$$\alpha = \frac{1}{234.5 + 40 + 60} = \frac{1}{334.5} = 0.003$$

であるから

$$K = \frac{2}{1.2} \frac{2}{1 + (2/1.2)^2 (1 + 0.18 \times 1.4)} = \frac{1}{1.34} = \frac{3}{4}$$

すなわち

$$k_{t2} f(v)_2 = 0.75 k_{t1} f(v)_1 \dots\dots\dots (22)$$

H 種絶縁を用いた場合の温度上昇係数は

$$\left(\frac{1}{1.35} \sim \frac{1}{1.65} \right) \text{ (A 種絶縁の場合の温度上昇係数) として}$$

決定してよいことがわかる。

このことは実験的にも確かめられている^{2d)}。

温度上昇を計算する場合の冷却面積の取り方は各実験者によつてそれぞれ異なつた方式が採用されている。一般に行なわれている方式は次のようである¹⁴⁾。

(a) 小型電動機の場合

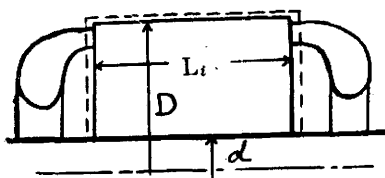


Fig 1

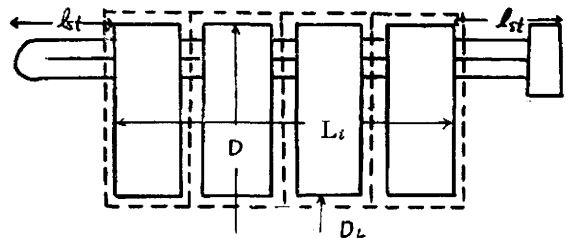


Fig 2

A は Fig 1 のようにとる。

$$A = \pi D L_t + \frac{\pi}{2} (D^2 - d^2) \dots\dots\dots (23)$$

(b) 大型電動機の場合

A を Fig 2 のようにとる。

$$\left. \begin{aligned} D < 40\text{cm} \quad A &= \pi D(L_t + 2l_{st}) + \pi D l_{st} + \frac{\pi}{4} (D^2 - D_i^2) (2 + n_a) \dots\dots \\ D > 40\text{cm} \quad A &= \pi D(L_t + 4l_{st}) + \pi D l_t + \frac{\pi}{4} (D^2 - D_i^2) (2 + n_a) \dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (24)$$

n_a : 通風隙の数

(23) (24) 式による場合の A 種絶縁, H 種絶縁に対する温度上昇係数は次に示すようである。

	A 種 絶 縁 の 場 合	H 種 絶 縁 の 場 合
k_t	450~550 A は (23) (24) 式による	300~450 A は (23) (24) 式による

なお H 種絶縁の場合整流子に対しては k_t は 60 ~ 80, 界磁コイルに対しては k_t 開放型 200 ~ 350, 密閉型 650 ~ 900 である。

〔9〕 主 要 寸 法 の 決 定

以上のべたところにより電流を m 倍し磁束密度を n 倍したときの出力増加の割合 S は (14) 式によつて示されたとおりである。

$$\text{いま } \theta_2 = 110^\circ\text{C}, \quad \theta_1 = 60^\circ\text{C}, \quad K = \frac{1}{1.5}, \quad K_{c1} = 1.3, \quad n = 1.2$$

とすると, (14) 式から $S = 2.07$ となる。この場合の $m = 1.62$ になる。

すなわち $S \cong 2$ となるためには K, K_{c1} の値が上記の程度であれば $\theta_2 = 110^\circ\text{C}$ ということになる。

よつてもし従来の設計式にこの関係が適用できれば設計上便利である。試みに田中竜夫の示した。

$$\xi_1 = \frac{D^3 \text{Ln}}{\text{KW}} \times 60 \quad \text{をとると, 温度上昇を 2 倍にすれば出力は約 2 倍となるのでその場合の } \xi_1 \text{ は } \frac{1}{2} \text{ 倍となることがわかる。}$$

よつて ξ_1, ξ_2 を設計の規準とすると, H 種絶縁に対しては

$$\frac{\xi_1}{S}, \text{ 一層正確には } \frac{\xi_1}{1.1} S \text{ 等として } D, L \text{ を決定することができる。}$$

勿論この場合まず損失分配率を吟味することは必要なことである。

Fig 3 は Arnold, 田中竜夫, 現用機械実例などによる ξ_1, ξ_2 の値を示している。

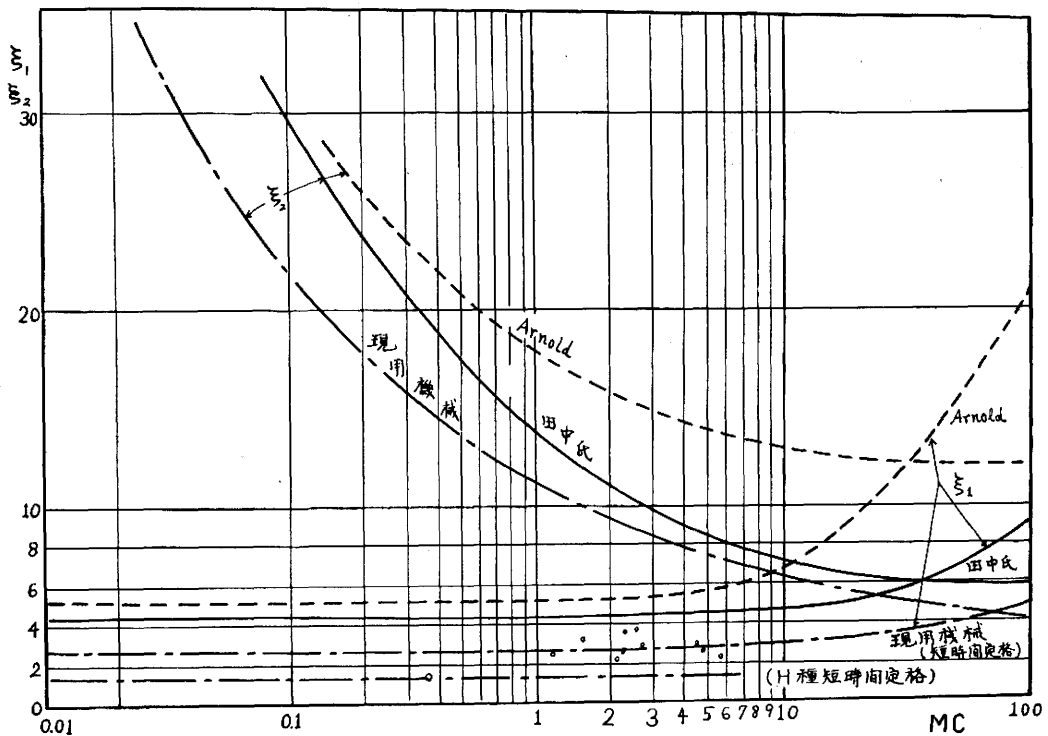


Fig 3 D^3L と MC 及び D^2L と MC { Arnold
田中氏
現用機械
H種 } の比較

[10] 結 言

以上によつてH種絶縁を用いた電気機械の設計法を明らかにした。すなわち温度上昇に対する機械の特性の解明，温度上昇計算式の決定を行い主要寸法，電気装荷，磁気装荷の決定法等について従来の設計法との関連を誘導したものである。この研究がこの方面の技術の進歩に貢献するものであることを期待するものである。

終りに臨み本研究について終始熱心な指導と鞭撻を頂いた京都大学阿部清教授，同林千博教授に対し深く感謝すると同時に，寸法係数等の調査に協力を頂いた同窓藤田伊八郎氏，山口春男氏に対し謝意を表する次第である。

参 考 文 献

1. Oburger : EuM. s. 247 Heft 11, (1953).
2. a. 化学的研究 例えば 山田貞吉，珪素樹脂工業. vol 6.
b. 物理的研究 例えば G. L. Moses, West. Eng. p 106. July. (1945).
c. 電気的研究 例えば 豊田 実，樹脂状シリコンの電氣的性質.
d. 熱的研究 例えば 藤宗寛治. 福井大学研究報告. p 39 vol 1, (昭30).
3. 藤宗寛治 : H種絶縁を用いた直流電動機について. 昭和30年2月.
4. 田中龍夫 : 電機設計と応用.

5. 田中龍夫 : The Fundamental Basis of Dynamo Electric Machine Design.
 6. Emde : Leistungsparameter, Grössenparameter, Drehchub E. T. Z. s. 1430 (1922).
 7. 執行岩根 : 電気機械設計論 I. p. 145.
 8. Niethammer : Elektrische Maschine, Apparate, und Auflagen
 9. Gray : Electric Machine Design
 10. 竹内寿太郎 : 電気機器設計学. p. 49 ~ 77.
 11. 上田輝雄 : 電気設計基礎学説.
 12. 竹内寿太郎 : 発電機の体格と熱特性. p. 39.
 13. B. Breunlich : EuM. Heft 19, okt-1954.
 14. Arnold : Gleichstrom maschinen. Bd I.
-